



## Тепломасообмін в сушильних установках

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>144 Теплоенергетика</i>
Освітня програма	<i>ОНП Теплоенергетика</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна) дистанційна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5,0 кредитів ЄКТС / 150 годин: лекції – 14 годин, лабораторні – 12 годин, самостійна робота аспіранта – 124 годин.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен</i>
Розклад занять	
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., професор, академік НАН України, Снежкін Юрій Федорович, 1Snezhkin@gmail.com Лабораторні: д.т.н., старший науковий співробітник, Петрова Жанна Олександрівна, bergelzhanna@ukr.net д.т.н., доцент, Пазюк Вадим Михайлович, vadim_pazuk@ukr.net</i>
Розміщення курсу	

#### Програма навчальної дисципліни

##### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Основною метою навчальної дисципліни «Тепломасообмін в сушильних установках» є отримання аспірантами знань закономірностей тепломасообміну в складних гігротермічних процесах. Прослухавши курс аспіранти повинні вміти самостійно формулювати, аналізувати і вирішувати складні задачі тепломасообміну в вологих матеріалах та сушарках. А також, виконувати дослідження і робити обґрунтовані висновки при дослідженні тепломасообмінних процесів при сушінні вологих матеріалів.

##### *ЗДАТНІСТЬ:*

- Формулювати, аналізувати і вирішувати задачі теплообміну в елементах енергетичного устаткування;

- Розраховувати теплові процеси в сучасних та перспективних сушильних установках;

- ЗК1 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;

- ЗК2 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;

- ФК1 Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів;

- ФК2 Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень теплофізичних властивостей систем і матеріалів, фізичних явищ і процесів, обробленні та презентації їхніх результатів;

- ФК5 Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної теплофізики, інженерії та комп'ютерних технологій.

Після засвоєння навчальної дисципліни аспіранти мають продемонструвати такі результати навчання:

**ЗНАННЯ:**

- Закономірностей тепломасообміну в процесах сушіння різних видів вологих матеріалів;  
- Методів розрахунку тепломасообміну процесів зневоднення колоїдних, капілярно-пористих та колоїдних капілярно-пористих вологих матеріалів.

**УМІННЯ:**

- Самостійно формулювати, аналізувати і вирішувати складні задачі тепломасообміну в сушильних установках;

- ПРН9 Вміння застосовувати теплофізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів, нових матеріалів, речовин і наукоємних технологій;

- ПРН11 Вміння застосовувати науково-технічну інформацію з різних джерел з використанням сучасних інформаційних технологій;

- ПРН12 Вміння класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної теплофізики;

- ПРН13 Вміння організувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди.

**2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Вивчення курсу «Тепломасообмін в сушильних установках» базується на таких курсах: «Термодинаміка вологого матеріалу», «Гігростатика», «Теплофізика», «Тепломасообмін в процесах сушіння».

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Тепломасообмін в сушильних установках» можна використовувати в подальшому під час навчання спеціалізованих дисциплін фізико-енергетичного циклу, що забезпечує індивідуальну наукову роботу аспірантів.

**3. Зміст навчальної дисципліни**

**Розділ 1. Фізико-хімічні процеси при сушінні.**

Тема 1.1. Фізико-хімічні властивості води.

Тема 1.2. Класифікація форм зв'язку вологи в матеріалах та їх зв'язок зі змінами властивостей вологих матеріалів при їх обробці.

Тема 1.3. Термодинамічні та теплофізичні характеристики вологого матеріалу.

**Розділ 2. Теорія переносу енергії та вологи при сушінні.**

Тема 2.1. Тепло і масоперенос в процесах сушіння.

Тема 2.2. Експериментальні закономірності процесу сушіння.

Тема 2.3. Тепло і масоперенос у вологих матеріалах.

**Розділ 3. Основи техніки сушіння.**

Тема 3.1. Основні методи сушіння. Класифікація методів теплового сушіння.

Тема 3.2. Тепломасообмін в конвективних сушильних установках.

Тема 3.3. Сушіння зернистих матеріалів щільному шарі.

**4. Навчальні матеріали та ресурси**

**Базова**

1.Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка. Техніка. – Київ, 2006. – 320с.

2.Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сороковая Н.Н., Кольчик Ю.Н. Молекулярно-радиационная теория и методы расчета тепло- и массообмена. Наукова думка. – Київ, 2014. – 743с.

3.Снежкін Ю.Ф., Шапар Р.О. Тепломасообмінні технології переробки пектиновмісної сировини. – К.: ТОВ»СІК ГРУП Україна», 2018. – 248с.

4. Амерханов Р.А., Драганов Б.Х. *Теплотехника*. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 433 с.
5. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О., Самойленко К.М., Слободянюк К.С. *Тепломасообмінні процеси отримання комбінованих функціональних порошоків*.
6. Драганов Б.Х., Долінський А.А., Міщенко А.В., Письменний Е.М. *Теплотехніка: Підручник*. – Київ: Фірма «ІНКОС», 2005. – 400 с.
7. Константинов С.М. *Технічна термодинаміка*. – К.: Політехніка, 2001–377 с.
8. Завалий А.А., Снежкін Ю.Ф. *Разработка и тепловое моделирование устройств инфракрасной сушки термолабильных материалов*. – Симферополь, ИТ «АРИАЛ», 2016. – 264 с.
9. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О. *Теплообмінні процеси під час одержання каротиновмісних порошоків*. – Київ: «Академперіодика», 2007. – С.162.
10. *Теплотехніка: Підручник*/О.Ф. Буляндра, Б.Х. Драганов, В.Г. Федорів та ін.; за ред. Б.Х. Драганова, О.Ф. Буляндри, - К: Вища шк., 1998. – 334с.
11. Гинзбург А.С. *Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. Пищевая промышленность*. - Москва, 1973. – 528с.

### Додаткова

1. Кампус НТУУ «КПІ» <https://login.kpi.ua/>
2. Науково-технічна бібліотека НТУУ «КПІ» <https://www.library.kpi.ua/>
3. Луканин В.Н., Шатров М.Г. *Теплотехника. Учебник для вузов*. – М.: Высшая школа, 2000. – 671 с.
4. Сычев В.В. *Дифференциальные уравнения термодинамики*. М.: Высшая школа, 1991. – 224 с.
5. Лыков А.В. *Тепломассообмен (справочник)*: М.: Энергия: 1998.- 500 с.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів на СРА з посиланням на літературу)
1.	<p><i>Вступ. Фізико-хімічні характеристики води. Адсорбційні явища. Енергія зв'язку вологи з матеріалом.</i></p> <p><i>Література</i></p> <p>1. Снежкін Ю.Ф., Шапар Р.О. <i>Тепломасообмінні технології переробки пектиновмісної сировини</i>. – К.: ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2018. – 248с.</p> <p>2. Амерханов Р.А., Драганов Б.Х. <i>Теплотехника</i>. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 433 с.</p> <p><b>ЗАВДАННЯ НА СРА</b></p> <p><i>Ув'язка класифікації форм зв'язку вологи зі змінами властивостей вологих матеріалів при їх обробці. Стан вологи і енергія зв'язку в деяких матеріалах і продуктах.</i></p>
2.	<p><i>Потенціал масопереносу. Обґрунтування поняття потенціалу масопереносу. Хімічний потенціал переносу адсорбційно з'язаної вологи, хімічно та капілярно зв'язаної вологи.</i></p> <p><i>Література</i></p> <p>1. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О. <i>Теплообмінні процеси під час одержання каротиновмісних порошоків</i>. – Київ: «Академперіодика», 2007. – С.162.</p> <p>2. Гинзбург А.С. <i>Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. Пищевая промышленность</i>. - Москва, 1973. – 528с.</p> <p><b>ЗАВДАННЯ НА СРА</b></p> <p><i>Єдиний потенціал переносу вологи. Масоємність. Теплоємність, теплопровідність та температуропровідність вологих матеріалів.</i></p>
3.	<p><i>Експериментальні закономірності процесу зневоднення та їх аналіз. Криві сушіння швидкості сушки та температурні криві. Періоди постійної та похилої швидкості сушіння.</i></p> <p><i>Література</i></p> <p>1. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О. <i>Теплообмінні процеси під час одержання каротиновмісних порошоків</i>. – Київ: «Академперіодика», 2007. – С.162.</p>

	<p>2.Снежкін Ю.Ф., Шапар Р.О. <i>Тепломасообмінні технології переробки пектиновмісної сировини.</i> – К.: ТОВ»СІК ГРУП Україна», 2018. – 248с.</p> <p><b>ЗАВДАННЯ НА СРА</b></p> <p>Як змінюються криві сушіння та швидкості сушіння при високотемпературному та низькотемпературному режимі. Види кривих швидкості сушіння в залежності від питомої поверхні випаровування.</p>
4.	<p>Тепломасообмін в процесах сушіння. Перенос вологи з поверхні матеріалу в середину сушильної камери. Тепломасообмін в вологих матеріалах.</p> <p><b>Література</b></p> <p>1.Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сороковая Н.Н., Кольчик Ю.Н. <i>Молекулярно-радиационная теория и методы расчета тепло- и массообмена.</i> Наукова думка. – Київ, 2014. – 743с.</p> <p>2.Лыков А.В. <i>Тепломассообмен (справочник):</i> М.: Энергия: 1998.- 500с.</p> <p><b>ЗАВДАННЯ НА СРА</b></p> <p>Диференціальне рівняння переносу теплоти. Диференціальне рівняння переносу вологи. Числа подоби тепломасообміну в процесах сушіння.</p>
5.	<p>Основи техніки сушіння. Основні методи сушіння. Класифікація методів теплового сушіння.</p> <p><b>Література</b></p> <p>1.Снежкін Ю.Ф., Шапар Р.О. <i>Тепломасообмінні технології переробки пектиновмісної сировини.</i> – К.: ТОВ»СІК ГРУП Україна», 2018. – 248с.</p> <p>2.Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж.О. <i>Теплообмінні процеси під час одержання каротиновмісних порошків.</i> – Київ: «Академперіодика», 2007. – С.162.</p> <p><b>ЗАВДАННЯ НА СРА</b></p> <p>Конвективне сушіння. Кондуктивне сушіння. Терморадіаційне сушіння. Конденсаційне сушіння.</p>
6.	<p>Тепломасообмін в конвективних сушильних установках. Сушіння кускових і зернистих матеріалів. Сушіння дисперсних та диспергированих матеріалів у зв'язаному стані. Зв'язок між тепло і вологопереносом в процесах сушіння.</p> <p><b>Література</b></p> <p>1.Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сороковая Н.Н., Кольчик Ю.Н. <i>Молекулярно-радиационная теория и методы расчета тепло- и массообмена.</i> Наукова думка. – Київ, 2014. – 743с.</p> <p>2.Лыков А.В. <i>Тепломассообмен (справочник):</i> М.: Энергия: 1998.- 500с</p> <p><b>ЗАВДАННЯ НА СРА</b></p> <p>Тепломасообмін в киплячому і віброкиплячому шарі при сушінні. Термодинамічний аналіз сушильної установки.</p>
	<b>ЗАКЛЮЧЕННЯ</b>

*Назва теми практичних занять (теми семінарів)*

1.	<i>Фізико-хімічні процеси при сушінні.</i>
2.	<i>Тепломасообмін в процесі сушіння.</i>
3.	<i>Основні методи сушіння.</i>

**6. Самостійна робота аспіранта**

*Самостійна робота аспірантів є навчити їх самостійно працювати з літературою, творчо сприймати навчальний матеріал і обмірковувати його.*

*На самостійну роботу відводяться наступні види завдань:*

- *обробка і обмірковування інформації, отриманої безпосередньо на заняттях;*
- *робота з відповідними підручниками та особистим конспектом лекцій;*
- *підготовка до складання екзамену.*

## 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:
- відвідування лекцій та семінарських занять
- активність на семінарських та лекційних заняттях, регулярна самостійна робота
- дотримання стандартів академічної доброчесності
- відвідування лекцій та семінарських занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, аспірантам рекомендується відвідувати усі види занять ( як лекцій так і семінарів);
- Moodle та інші інтернет ресурси, що надає викладач, тощо.

## 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

*Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття.*

*Опитування за темою лекції. Максимальна кількість балів - 20.*

*Лабораторні роботи. Максимальна кількість балів - 40.*

*Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за індивідуальне завдання семестровий рейтинг більше 30 балів.*

*Семестровий контроль: екзамен (тах 40 балів)*

*Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за індивідуальне завдання семестровий рейтинг більше 30 балів.*

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

## 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (наприклад, як додаток до силабусу);
- можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою;
- інша інформація для аспірантів щодо особливостей опанування навчальної дисципліни.

### Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено Академіком НАН України, д.т.н., професором, Снежкіним Юрієм Федоровичем

Ухвалено Вченою радою ІТТФ НАН України (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_)